

CHAP 10-ACT DOC/EXP semi-conducteurs-diodes-cellules photovoltaïques : comment expliquer leur fonctionnement ?

Mots clés :

- Semi-conducteurs-cellules photovoltaïques

I/ Un semi-conducteur « lumineux » : la LED

Doc 1 La conduction dans les semi-conducteurs

Les matériaux semi-conducteurs ne sont ni de bons conducteurs ni de bons isolants, mais se situent à un niveau intermédiaire, entre conducteurs et non conducteurs.

Au niveau des atomes qui constituent un matériau semi-conducteur, si les électrons de la dernière couche possèdent suffisamment d'énergie, ils peuvent se « détacher » de leur atome (Fig. 1) et assurer ainsi la conduction d'un courant, comme un électron libre.

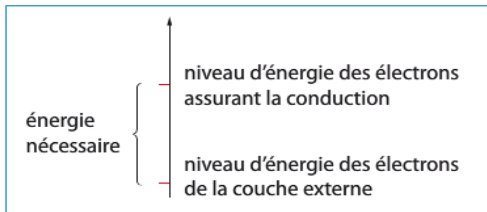


Fig. 1 Un électron a besoin d'énergie pour se « détacher » de son atome.

Doc 2 Électrons et « trous » dans les semi-conducteurs

Dans les semi-conducteurs, on peut considérer que la conduction du courant s'effectue par les électrons ou par... des trous ! Quand un électron quitte sa place, il laisse en effet derrière lui un trou. Un électron voisin peut venir le combler, formant à son tour un trou et ainsi de suite (Fig. 2). De la sorte, on peut dire que le trou se déplace.

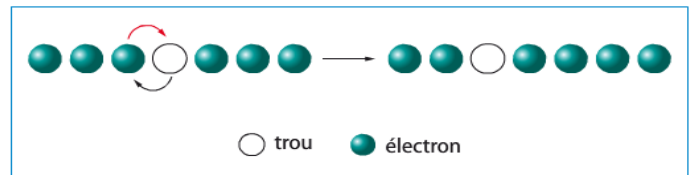


Fig. 2 Déplacement d'un électron et d'un trou.

Doc 3 Dopage N et dopage P

La conductivité d'un semi-conducteur peut être artificiellement augmentée en ajoutant des « impuretés ».

On parle de **dopage N** quand on ajoute des atomes qui ont plus d'électrons sur leur couche électronique externe que les atomes constituant le semi-conducteur. On augmente ainsi le nombre d'électrons susceptibles de se déplacer (Fig. 3 a).

On parle de **dopage P** quand on ajoute des atomes qui ont moins d'électrons sur leur couche électronique externe que les atomes constituant le semi-conducteur. On augmente ainsi le nombre de trous susceptibles de se déplacer (Fig. 3 b).

Quand on associe un matériau dopé P à un matériau dopé N, on forme ce qu'on appelle une jonction PN, qui est la base du fonctionnement de la diode.

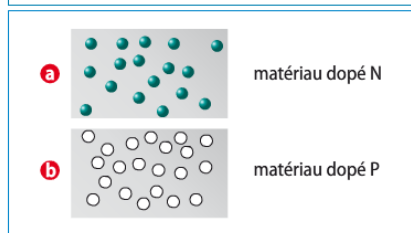


Fig. 3 Des matériaux dopés.

Doc 4 La jonction PN (diode)

Dans une diode, en l'absence de tension appliquée, le déplacement des électrons et des trous proches de la frontière PN crée une barrière infranchissable pour les autres (Fig. 4 a).

En présence d'une tension appliquée, le comportement des porteurs de charge varie selon la polarisation, c'est-à-dire selon le signe de la tension (Fig. 4 b et c).

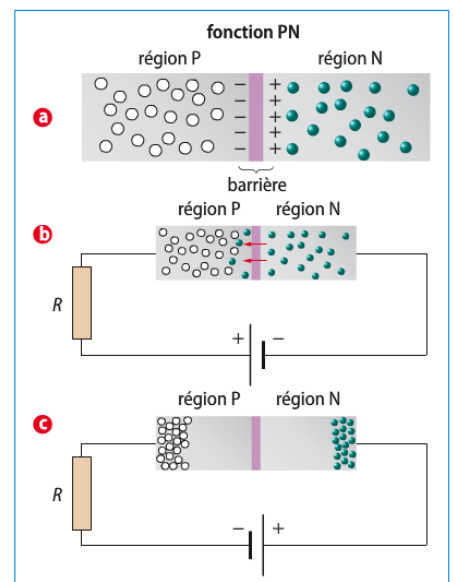
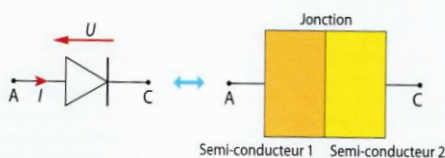


Fig. 4 Comportement des électrons et des trous dans une diode. a) En l'absence de tension ; b) en polarisation directe ; c) en polarisation inverse.

Doc 5 Principe de la DEL

Les diodes électroluminescentes (DEL) émettent de la lumière monochromatique lorsqu'elles sont parcourues par un courant électrique.

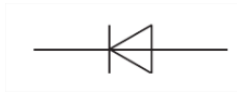


Une DEL est constituée de la mise en contact de deux matériaux, médiocres conducteurs de l'électricité, dits « semi-conducteurs », par exemple l'arséniure de gallium (AsGa). Une DEL n'autorise le passage des électrons que de la cathode C vers l'anode A (schéma ci-dessus). Le passage d'un électron par la jonction s'accompagne de l'émission d'un photon. La tension de fonctionnement  $U$  aux bornes de la DEL dépend des semi-conducteurs en contact et l'énergie du photon émis est égale au produit  $eU$ .

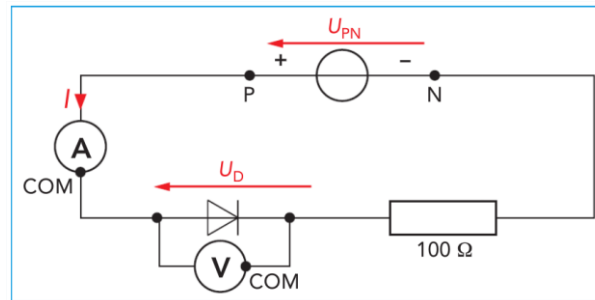


### 1) Caractéristique d'une diode au silicium

Une diode est un composant de symbole



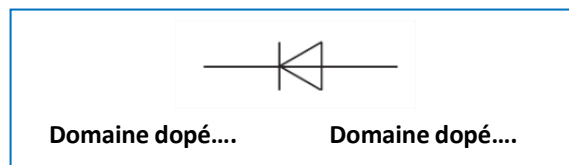
► Réaliser le montage suivant :



- Faire varier la tension  $U_{PN}$  entre les valeurs  $-3,0$  V et  $+6,0$  V, et relever pour chaque tension les valeurs de la tension  $U_D$  aux bornes de la diode et de l'intensité  $I$  qui la traverse. Porter ces valeurs dans un tableau. Les valeurs négatives de la tension  $U_{PN}$  sont obtenues en inversant les pôles du générateur.
- Tracer le graphe  $I = f(U_D)$ .

### 2) Fonctionnement d'une diode

- 2.1 Décrire l'allure du graphe  $I = f(U_D)$ . Indiquer sur quelle partie de la caractéristique la diode
  - a. conduit le courant électrique (diode passante) ;
  - b. bloque le courant électrique (diode bloquée).
- 2.2 Déterminer graphiquement la valeur de la tension aux bornes de la diode lorsqu'elle devient passante (appelée tension de seuil et notée  $U_s$ ).
- 2.3 Associer à chacun des états de la diode (passante ou bloquée) le schéma correspondant (b ou c du doc 4)
- 2.4 Reproduire le schéma ci-contre. Indiquer le sens du courant  $I$  pour que la diode soit passante et compléter les pointillés.



### 3) les diodes électroluminescentes (DEL en français)

- Revenir à une valeur de  $U_{PN}$  pour laquelle la diode est passante. Remplacer la diode au silicium par une DEL puis inverser le sens de branchement de la DEL. Qu'observe-t-on ?
- 3.1 En quoi une DEL est-elle un semi-conducteur ?
- 3.2 A quelle condition une DEL émet-elle de la lumière ?

## II/ Une diode particulière : la photodiode.

Les photodiodes de symbole :

sont les constituants des panneaux photovoltaïques.

Dans l'obscurité, elles se comportent comme n'importe quelle diode.

Lorsqu'elles sont éclairées par de la lumière, les photodiodes génèrent un courant électrique et une tension apparaît à leur bornes.

*Quelle est la caractéristique d'une photodiode (ou d'une cellule photovoltaïque) ? Comment fonctionne-t-elle ?*

### Document 1 : Le solaire, une formidable source d'énergie verte

Chaque année, l'énergie solaire produit plus de 20 fois les besoins énergétiques mondiaux. Et pourtant, elle ne représente que 1% des capacités de production électrique mondiale. L'énergie solaire, produite par le rayonnement du soleil sur la Terre, représente une source naturelle inépuisable et 100% verte.



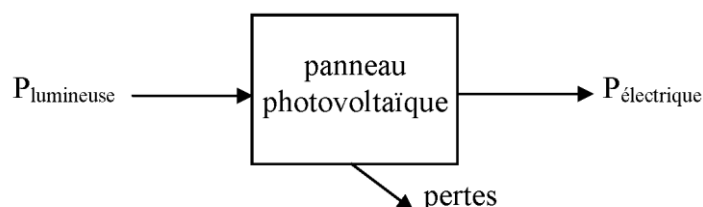
Exploitée selon deux techniques différentes, elle utilise soit :

- des capteurs solaires qui transforment les rayonnements en chaleur. Cette chaleur est ensuite distribuée par un système de circulation d'eau ou d'air. Appelé «solaire thermique», son utilisation peut être complétée, pendant les périodes de l'année peu ensoleillées, par une énergie complémentaire (gaz naturel, électricité, bois...),
- des cellules photovoltaïques, réunies dans un panneau solaire, qui transforment l'énergie en courant électrique. Celui-ci est alors utilisé localement par le bâtiment qui l'a produit ou transmis sur le réseau électrique. On l'appelle, le «solaire photovoltaïque».

Dans un monde qui manquera de ressources énergétiques dans quelques décennies, la solution solaire semble parfaite. Pourtant, la pratique n'entre pas dans les moeurs. Premier facteur aggravant : l'investissement que cette énergie représente pour un manque de rendement. Les 100 000 pauvres d'Inde ont des besoins en électricité limités. Mais dans le monde occidental, impossible d'imaginer une maison où l'électroménager, la télévision, l'ordinateur et les lampes halogènes sont fournis en énergie solaire. Sans oublier le climat plus tempéré et le faible nombre de jours ensoleillés.

Le solaire thermique se révèle efficace pour chauffer l'eau et ne coûte pas aussi cher que le solaire photovoltaïque. Pourtant, la recherche progresse dans ce domaine et le rendement, déjà très faible, s'améliore constamment. En France et en Allemagne, des crédits d'impôt et des aides financières ont été mis en place pour tous les types d'énergie solaire.

### Document 2 : Un panneau photovoltaïque convertit l'énergie lumineuse en énergie électrique



**Document 3 : Rendement d'une cellule photovoltaïque :**

Pour caractériser la puissance lumineuse reçue par le panneau, on utilise une grandeur physique particulière appelée « **éclairage** ». Cette grandeur est notée  $E$ . Elle correspond à la puissance lumineuse reçue par unité de surface du panneau et s'exprime donc en  $W/m^2$ .

Le rendement d'une cellule photovoltaïque est le quotient  $\eta = \frac{P_m}{E \times S}$  où  $P_m$  est la puissance maximale fournie par la cellule en W,  $E$  l'éclairage en  $W/m^2$  et  $S$  la surface de la cellule en  $m^2$ .

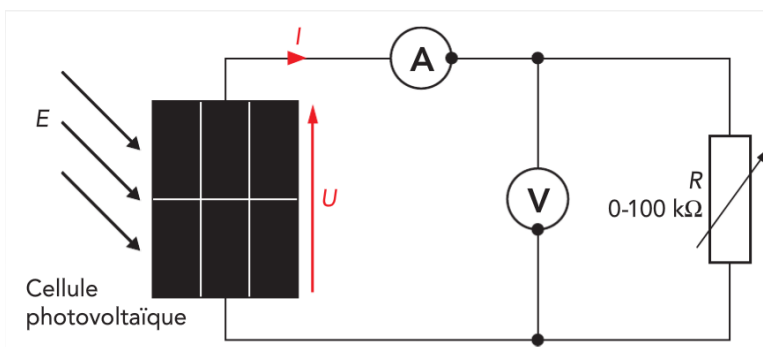
Un luxmètre permet d'obtenir un ordre de grandeur de l'éclairage sachant que 100 lux correspondent à environ  $1 W/m^2$ .

La puissance d'un dipôle électrique est fournie par la relation  $P = U \times I$ .

Le **maximum de puissance** d'un panneau est atteint dans des conditions particulières de courant et de tension que la caractéristique permet de déterminer.

**1) Caractéristique d'une cellule photovoltaïque**

- Réaliser le montage suivant :



- Eclairer la cellule photovoltaïque à l'aide d'une lampe de bureau
- On note  $E$  l'éclairage de la lampe, mesuré en lux, par un luxmètre (capteur sysam). Orienter la lampe pour que l'éclairage soit maximal. Relever la valeur  $E$  de l'éclairage et ne plus déplacer ni la lampe ni la cellule.
- Compléter le tableau suivant en faisant varier la résistance  $R$  ( $1,5\Omega$ - $10\Omega$ - $22\Omega$ - $68\Omega$ - $100\Omega$ - $220\Omega$ - $470\Omega$ - $1k\Omega$ ).

La valeur  $U=0V$  est obtenue en remplaçant la résistance par un fil de connexion ( $R=0\Omega$ ).

La valeur  $I=0\text{ mA}$  est obtenue en retirant la résistance ( $R=\infty$ ).

$I$ (mA)														0,0
$U$ (V)	0,0													
$P$ (mW)														

- Tracer la caractéristique courant-tension  $I=f(U)$ . Commenter l'allure de la caractéristique.
- La caractéristique d'un récepteur passe par l'origine, contrairement à celle d'un générateur. La cellule photovoltaïque est-elle un récepteur ou un générateur ?
- On note  $I_{cc}$  l'intensité délivrée par la cellule en court-circuit c'est-à-dire lorsque la tension est nulle. On note  $U_{co}$  la tension en circuit ouvert aux bornes de la cellule quand l'intensité est nulle. Quelles sont les valeurs de  $I_{cc}$  et de  $U_{co}$  ?

**2) Rendement**

- Calculer la puissance électrique  $P$  en mW, fournie par la cellule et remplir la 3<sup>ème</sup> ligne du tableau.
- Tracer la caractéristique puissance-tension  $P=f(U)$ . Commenter l'allure de la caractéristique.
- Quelle est la puissance maximale notée  $P_m$  fournie par la cellule photovoltaïque ?



7. Déterminer la surface de la cellule.
8. Déterminer un ordre de grandeur du rendement de la cellule photovoltaïque étudiée.
9. Proposer une cause du rendement limitée des cellules photovoltaïques
10. Quelle solution proposer pour augmenter le rendement photovoltaïque d'une cellule ?

### 3) Fonctionnement d'un panneau solaire

Les valeurs d'intensité et de tension obtenues avec une seule cellule sont faibles. Les panneaux solaires sont réalisés par association en série et/ou en parallèle d'un grand nombre de cellules photovoltaïques.

11. Pour chaque type d'association :

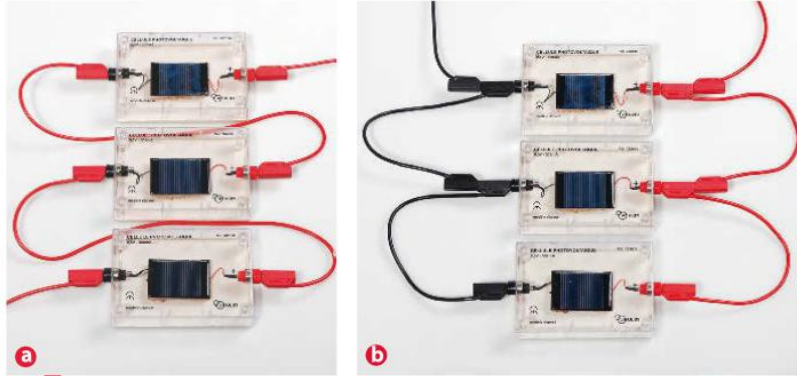


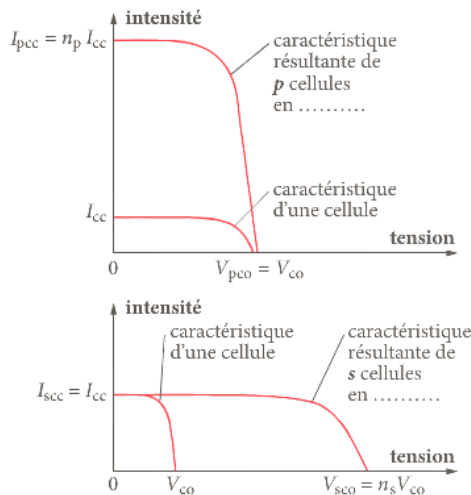
Fig. 2 Association de cellules photovoltaïques **a** en série, **b** en parallèle.

- a) Quelle est la grandeur électrique commune aux cellules associées ?
- b) Quelle grandeur électrique est modifiée ?

12. Les cellules doivent-elles être montées en série ou en dérivation pour augmenter l'intensité du courant débité par le générateur photovoltaïque ?

Les cellules doivent-elles être montées en série ou en dérivation pour augmenter la tension délivrée par le panneau ?

Compléter les schémas suivants :



b. Courbes caractéristiques  $I = f(U)$  pour deux montages différents.  $I$  est l'intensité du courant débité par le photogénérateur ;  $U$  est la tension entre ses bornes.

13. On admet que le rendement d'un panneau solaire est le même que celui des cellules photovoltaïques élémentaires le constituant.

Pour un éclairage de  $1000 \text{ W/m}^2$ , déterminer la surface d'un panneau solaire qui fournirait la même puissance électrique que celle d'une centrale nucléaire classique de 900 MW. Conclure.